

## 8. 3次元土木地質 GIS

本章では、電子化された地質調査データを有効利用する次世代 CALS において、非常に重要な位置を示すであろう「3次元土木地質 GIS」の現状と今後の展望について説明する。

近年、コンピュータ技術の発達により、3次元地質情報処理技術が進歩してきており、調査の実務でも少しずつ採用されるようになってきた。

この技術により、ボーリングデータの存在しない任意の断面の推定や地震防災等の検討に密接に関係する地盤モデルの生成が可能となる。

「3次元土木地質 GIS」とは、ボーリングデータ、地質断面図、地質平面図を用いて、地盤・地質構造を3次的に推定し、表現することが可能な GIS である。

### 8.1 3次元土木地質 GIS の現状

#### 8.1.1 3次元土木地質 GIS ソフト

いくつかの代表的な3次元土木地質 GIS ソフトを表-8.1 および表-8.2 に示す。

なお、表-8.1 および表-8.2 に示す情報は、全てインターネットより取得したものである。

これら3次元土木地質 GIS ソフトは、地質情報や地質の物性値情報から3次元地質構造モデルを構築するための解析支援機能を有する。また、これらの機能を利用して、調査・設計から施工管理、施設管理までをサポートすることを目的としている。

以下に3次元土木地質 GIS ソフトの代表的な適用分野を示す。

#### ①ダムサイト

- ・地質構造(工学的評価, 弱層分布, 断層面, 透水性(ルジオンマップ))
- ・地下水分布
- ・掘削形状, 掘削面

#### ②地すべり

- ・地質構造(工学的評価, 弱層分布, 断層面)
- ・地下水分布

③トンネル

- ・地質構造(工学的評価, 弱層分布)
- ・地下水分布
- ・掘削形状, 掘削面

④石油産業や鉱業

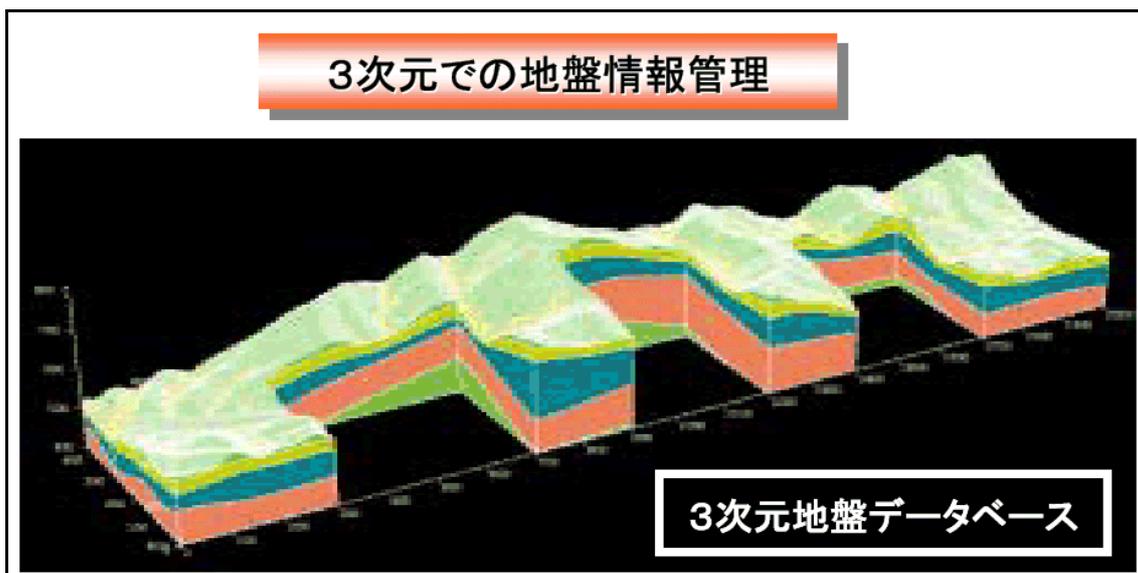


図-8.1 3次元地盤データベース 表示例(GeoCALS(国際航業株式会社))

表-8.1 3次元土木地質GISソフト(1)

ソフト名	開発(販売)会社	特徴	HP
GEORAMA	(株)CRC ソリューションズ	地質モデルをグラフィック上で3次元的に捉えることによって、従来把握が困難であった地質の3次元分布を容易に理解できる。各種FEMソルバーで使用できるメッシュ作成機能もあり、FEMメッシュジェネレータとしても利用できる。また土工計画に利用するための法面設計や土量計算等にも利用できる。	<a href="http://www.civil-eye.com/software/jiban/Georama/top.htm">http://www.civil-eye.com/software/jiban/Georama/top.htm</a>
VALUCAN	(株)ダイヤコンサルタント	VULCANは、地下の3次元空間に分布する地質データから地質構造や物性値分布の3次元モデルを作成し、総合的に解析処理を行う地質情報のモデリング/マッピングシステムである。	<a href="http://www.diaconsult.co.jp/honten/tec/vulcan/vulcan.html">http://www.diaconsult.co.jp/honten/tec/vulcan/vulcan.html</a>
3次元地質解析支援システム	応用地質株式会社	地質情報・物性データなどから3次元地質構造モデルを構築するための解析支援を行い、信頼性の高い地質解析結果を電子情報として効率的に提供することで、調査、設計から施工管理までシームレスにサポートすることを目指した地盤工学技術者のためのコンピュータシステムである。	<a href="http://www.oyo.co.jp/service/sentan/3d/index.html">http://www.oyo.co.jp/service/sentan/3d/index.html</a>
GeoCALS	国際航業株式会社	ボーリング情報、地質情報を基に、地盤情報を3次元地盤データベースで管理し、様々な分野への地盤データの提供を目指したシステムである。	
G-Cube	中央開発株式会社	地図情報、地形標高情報、ボーリング情報及び地質断面図情報を用いて、地質3次元モデルを作成する。作成した地質3次元モデルは、任意の場所で切断することができる。	<a href="http://g-cube.ckcnet.co.jp/">http://g-cube.ckcnet.co.jp/</a>
StrataModel	Landmark社	石油探査の分野で開発されたシステムである。地層が堆積し変形する過程に各種のモデルを用いて地層の形成をモデル化する機能や、作成した地層境界面の修正機能が豊富に開発されていることが特長である。	<a href="http://www2.lgc.com/solutions/Stratamodel/StrataModel.asp">http://www2.lgc.com/solutions/Stratamodel/StrataModel.asp</a>

¥表-8.2 3次元土木地質GISソフト(2)

ソフト名	開発(販売)会社	特徴	HP
G★BASE	地熱技術開発(株)	G★BASEは、地下情報(地質・物理探査・地化学調査・掘削・検層等)をデジタル化し、4次元情報(空間+時間)を自在に可視化することができる地下情報データベースシステムである。坑跡、微小地震震央分布、標高、数値分布などのデータを同時に表現して色々な方向から眺めることが可能である。	<a href="http://www.gerd.co.jp/soft/gobase/index.html-A004">http://www.gerd.co.jp/soft/gobase/index.html - A004</a>
RockWorks	株式会社ヒューリンクス	RockWorks2002には、地質学研究の現場に欠かせないツールが網羅されている。ボーリングログ(検層柱状図)、断面図、フェンスグラフ、ソリッドモデル(上昇流、鉱脈、石油貯蔵槽)、地層のレイヤーおよびサーフェイスモデル、等高線マップと地形モデル、パイパーグラフ、スティッフグラフ、ステレオネットグラフ、ローズグラフ、三角グラフ等々を作成し、緻密な分析を可能にする。	<a href="http://www.hulinks.co.jp/software/rockworks/">http://www.hulinks.co.jp/software/rockworks/</a>

### 8.1.2 大学等の研究機関の取り組み

大学等の地質情報処理技術の動向を把握するために、学・協会誌、シンポジウム資料などの資料を収集した。

収集文献は日本情報地質学会誌、日本応用地質学会誌などが中心である。収集文献のリストを表-8.3 および表-8.4 に示す。収集した文献は、(1)地質(岩盤)情報のデータベースに係わる文献、(2)三次元表示にかかわる文献、(3)地質情報のネットワークに係わるものなどに分類することができる。それらの中から三次元地質情報技術に関連したもの((1)、(2))の要約をまとめると以下のようなになる。

表-8.3 収集文献リスト①

著者	年	タイトル	掲載誌	ページ
(1)地質(岩盤)情報のデータベース化に係わる文献				
横田 修一郎	1996	露頭データベースの作成はなぜ困難か?	情報地質 7 巻 4 号	297-301
升本 眞二 塩野 清治 Venkatesh Raghavan 坂本 正徳 弘原海 清	1997	地質情報と GIS-地質図情報の特殊性について-	情報地質 8 巻 2 号	99-106
平野 勇 双木 英人 阪元 恵一郎 小池 淳子	1997	ダムサイト地質調査業務における電算処理化の試み	情報地質 8 巻 1 号	3-13
朝日 秀定 弘原海 清 塩野 清治	1994	ボーリング記録における土質名の数量化と地盤区分	情報地質 5 巻 4 号	211-221
朝日 秀定 弘原海 清 塩野 清治	1995	土質名を数値化したボーリング資料のスペクトル解析 -スペクトル地盤図の土質柱状図推定への利用-	情報地質 6 巻 1 号	1-11
(2) 三次元表示に関する文献				
谷 茂 福原 正斗	2000	地下ダムにおける地質三次元解析・表示システムの利用	情報地質 11 巻 2 号	130-131
坂本 正徳 塩野 清治 升本 眞二	2000	論理地質額の理論を導入した3次元地質図作成システムの実用的構成	情報地質 11 巻 2 号	116-117
根本 達也 米澤 剛 升本 眞二 ベンガテッシュラガワン 塩野 清治	2000	断層を含む3次元地質モデルの構築	情報地質 11 巻 2 号	100-101
升本 眞二 根本 達也 ベンガテッシュラガワン 塩野 清治	2000	GRASS GISによる地質断面図の可視化	情報地質 11 巻 2 号	92-95
升本 眞二 ベンガテッシュラガワン 青山 隆行 塩野 清治	1999	地質図幅をデータとしたGISによる3次元地質モデル-新潟県小千谷地域の例-	情報地質 10 巻 2 号	96-99
小池 克明 大見 美智人	1999	地質分布の3次元シミュレーション法と地盤構造解析への応用	情報地質 10 巻 2 号	92-93

表-8.4 収集文献リスト②

著者	年	タイトル	掲載誌	ページ
菊地 正彦 宮田 俊二 若松 信治	1999	地層情報立体表示ソフト	情報地質 10 巻 2 号	88-89
福原 正斗 谷 茂	1999	地質三次元解析・表示システムの開発	情報地質 10 巻 2 号	68-69
塩野 清治 升本 眞二 坂本 正徳	1998	地層の 3 次元分布の特性と地質図作成アルゴリズム —地質構造の論理モデル—	情報地質 9 巻 3 号	121-134
坂本 正徳 塩野 清治 升本 眞二	1995	地質作成システム CIGMA で処理される数値情報	情報地質 6 巻 3 号	117-122
桜井 英行 難波 浩之 迫垣内 薫 原田 芳金 古宇田 亮一	1995	ソリッド・モデラを用いた三次元地質モデルの作成	情報地質 6 巻 2 号	73-80
伊藤 俊彦 楠田 啓 西山 孝	1995	コンピュータグラフィックスによる碎石場の景観シュミレーション	情報地質 6 号 2 号	65-72
小池 克明 大見 美智人	1995	地下構造モデルの構築のための補間法に関する一考察	情報地質 6 巻 3 号	133-146
林 大五郎	1995	地質構造解析における歪楕円体の適合度 c 値の提唱	情報地質 6 巻 1 号	13-29
青山 隆行 塩野 清治 升本 眞二 野藤 孝裕	1997	最適化原理による不連続な曲面の推定	情報地質 8 巻 3 号	157-175
彬 小池 克明 大見 美智人	1997	空間的分布則を考慮したニューラルネットワークによる不規則配置データの補間	情報地質 8 巻 4 号	269-279
玉川 哲也 松岡 俊文 田村 八洲夫	1998	単純剪断変形が存在する時の断層折れ曲がり褶曲構造に対する幾何学的検討	情報地質 9 巻 1 号	3-11
M. Perrin P. Roudier B. Peroche	1993	COMPUTER AIDED 3D EROSIONAL MODELING OPERATED ON GEOLOGICALLY DIVERSIFIED FOLDED AND FAULTED TERRAINS	Geoinfor-matics 4 3	161-166
(3) 地質情報のネットワークに係わる文献				
山本 嘉一郎	1998	Web と DBMS 連携によるデータベースシステムの開発	情報地質 9 巻 2 号	91-98

(1) 地質(岩盤)情報のデータベース化に係わる文献

**地質情報と GIS—地質図情報の特殊性について—**

(情報地質 第 8 巻 第 2 号 99-106 頁, 1997 年)

: 升本 眞二・Venkatesh Raghavan・塩野 清治・坂本 正徳・弘原海 清

キーワード: 地質情報, GIS, 地質図, 3次元地質モデル, 関係情報, EIS

多様な地質情報の代表例として地質図に注目し, 本来の地質図がもつ情報を GIS に構築することが難しいことを示した。また, 地質情報を活用するためには, 地質情報を取り扱えるシステム(例えば, EIS: Earth Information System)を開発する必要があることも示した。

地質図は地質体の 3 次元分布の情報とそれに関連した地質体の性質や地質体間の関係を表す情報をもつ。地質体の 3 次元分布は CIGMA の地質関数  $g$  を用いることにより GIS でも構築できる可能性がある。関連した情報は層序・構造の関係などの重要な情報である。地質学の多様な知識に基づいたこれらの関係の情報は, 地質図の基本となるものである。しかし, この層序・構造などの関係は非常に複雑で特殊な情報である。また, 地質図の本来もつ問題として, ①地質図を描くために用いたデータが示されていないこと, ②データから地質図を描くための推論手続きが複雑で定式化されていないこと, ③地質図には作成者の判断が含まれることなどがある。これらの問題と関係情報の特殊性が GIS での地質図情報の構築を難しくしている理由である。

**ダムサイト地質調査業務における電算処理化の試み**

(情報地質 第 8 巻 第 1 号 3-13 頁, 1997 年)

: 平野 勇・双木 英人・阪元 恵一郎・小池 淳子

キーワード: ダム地質, 地質調査, 地質図, 岩級区分図, ルジオンマップ, 地質図作成支援システム

ダムサイトの地質調査における調査データの処理, 保存, 解析, 地質図作成などの地質調査業務の効率化を目的として, 地質調査業務を電算によって処理するための研究を実施している。

まず, ダムサイト地質調査の特徴と地質図を設計と施工に利用するときの基本的な考え方について整理することによって, 地質調査業務の現在の状況と問題点について分析した。また, このような分析をベースにして地質調査業務の流れを電算・情報化する方法を検討し, 提案した。

さらに, 電算・情報化の主体をなす地質図作成支援システムを開発し, その概要を紹介した。このシステムは, ダムサイト地質図の精度と信頼性を従前どおり維持するため, 地質技術者の地質図作成作業を支援する機能を持つが地質解釈の機能は持たせていない。

地質調査で得られる露頭情報のデータベース化については, 横田(1996)が 6 点を挙げ,

その困難さを指摘している。つまり、露頭データにはあいまいさを含んだ非定量的なデータがあること、露頭データ自体が点としてのデータである場合と3次元としてのデータである場合とが混在することなどを挙げて困難さを述べている。地質技術者はこうしたデータをもとに地質図を作成するわけであるが、作成時の3次元的なアルゴリズムを塩野他(1998)(後出)は研究を進めている。現段階においては、電算処理により露頭データに基づく地質図作成は困難と考えられる。一方で、地質図自体が地質技術者の経験とそれに基づく主観とが強く反映されたものであるため、地質調査業務での電算処理は調査データ処理やその保管というデータベース化が重要であって、地質解釈の機能を持たせないとしている(平野ほか, 1997)。

## (2) 三次元表示にかかわる文献

### 地層三次元解析・表示システムの開発—最適化原理の適用例—

(情報地質 第10巻 第2号 68-69頁, 1998年)

: 福原 正斗・谷 茂

キーワード: 三次元表示, 地質三次元モデル, ダム

当システムは、ダム建設のための地形地質調査結果をパソコン上で効率的に保存、編集、解析するシステムを構築し、ダム建設にかかる費用や調査時間の軽減を目的とした「ダムの地形・地質三次元解析支援システムの開発(農林水産省:官民連携新技術研究開発事業)」の成果の一部である。この中では地質の三次元モデルを最適化原理により作成し、視点を移動しながら自由に地層構成を見ることが出来る機能を搭載している。また、既存の地質柱状図や断面図を三次元座標上に配置し、地質モデルの整合性を判定することが可能となっている。

### 地層の3次元分布の特性と地質図作成アルゴリズム—地質構造の論理モデル—

(情報地質 第9巻 第3号 121-134頁, 1998年)

: 塩野 清治・升本 眞二・坂本 正徳

キーワード: 3次元モデル, 地質図, 堆積作用, 侵食作用, 区分, 順序, 漸化式表現

地下構造のコンピュータ処理法の研究は地質学および関連する応用分野におけるコンピュータの高度利用を目的とする情報地質学にとってもっとも重要な課題のひとつである。本論文では堆積と侵食の歴史を通じて形成された地質構造を対象を限定して、野外調査データから3次元地質モデルを決定するデータ処理の数学的基礎を総括する。まず最初に、地層の分布域と面の間になり立つ論理的関係(地質構造の論理モデル)を定める漸化式モデルを提示する。次に、このモデルを基礎にして、3次元地質モデルを決定するデータ処理の流れを、(1)地質ユニット区分、(2)地質ユニットとeventの順序づけ、(3)地質構造の論

理モデルの決定, (4)面の推定, (5)任意の点がどの地質ユニットに含まれるかを定める関数  $g$  の決定, (6)関数  $g$  による 3 次元地下構造の可視化という 6 つのステップに分けて分析し, それぞれに数学表現を与えた。この定式化は地下構造のコンピュータ処理アルゴリズムを開発するための理論的基礎を与えるものである。

### 地下構造モデルの構築のための補間法に関する一考察

(情報地質 第 6 巻 第 3 号 133-146 頁, 1995 年)

: 小池 克明・大見 美智人

キーワード: 等値線作成, 補間, 移動平均法, 最適化原理, クリッキング法, 誤差, セミバリオグラム

2 次元平面内で不規則に分布し, 多様な属性をもつ地質情報から種々の地下構造を明らかにするためには, 等値線作成法の選択が重要となる。なぜならば, 各手法ごとに作成される曲面の形状, すなわち属性値(物性値)の分布を表すモデルが異なるからである。等値線作成法は, 対象とするデータの性質によって 2 つに大別される。その 1 つは各データに物理的な重み係数を与え, その重み係数に応じてモデルと原データとの値の差を調整する「当てはめ」であり, 他方はすべての原データの位置でその値に近づくようなモデルを構築する「補間」である。さらに, 後者の補間においては, (I)データの母体が均質な場合と(II)複数の母体からデータが得られた場合とによって手法を細分化する必要がある。

本論文では, (I)に適する補間法として移動平均法, 最適化原理, クリッキング法, および最適化原理とクリッキング法とを組み合わせた手法を選び, これらを 2 次元関数の復元問題に適用した。各補間法によって格子点ごとに求められた値に基づき, 補間の誤差, モデルの滑らかさ, およびセミバリオグラムの誤差の観点から各補間法を評価した。さらに, 補間法を適用する際に必要となるパラメータの値の適切な設定法, および補間の誤差と格子点周りのデータの分布状態との関連性について考察した。

### 8.1.3 地質3次元のモデリング手法

地質情報の3次元モデルの作成は、高度な地形・地質解釈が必要とされ、これを数学的な手法を用いて表現することは、現在でも難しい技術分野である。ここでは、3次元地下構造モデルの構築のための補間法と地質構造の3次元可視化の処理技術について紹介する。

3次元地下構造モデルの構築のための補間法として代表的なものは、①加重平均法、②最適化原理、③クリッキング法であり、地質構造の3次元可視化の処理技術として代表的なものは、①サーフェイスモデル、②ボクセルモデルである。

以下にその概要を示す。

#### (1) 3次元地下構造モデルの構築のための補間法(小池, 1995)

##### ①加重平均法

ある領域を格子点に区切り、各格子点周辺の限られた範囲内に分布するデータを用いて等値線を作成する手法である。局所的な内挿法によって格子点での値を求めるものであり、データ点と格子点との距離を重みとした移動平均法(Davis, 1973; 山田, 1981)および重み付きの最小2乗法によってデータを2次の多項式に当てはめる手法(Glichrist and Gressman, 1954; Pelto et al., 1968; 野藤ほか, 1985)が提案されている。

##### ②最適化原理法

物性値の分布モデルの作成を力学的ポテンシャルエネルギーの最小化問題のアナロジーとして捉えた手法である。弾性体の薄板を想定した重調和方程式を解くことで、薄板の曲率を最小化する手法がBriggs(1974)によって、また薄板に張力を作用させ、その形状をスプライン関数によって表す手法が大西(1975)やGonzalez-Casanova and Alvarez(1985)によって提唱されている。しかし、これらの手法では薄板のポアソン比を1と仮定しており、物理的には妥当でない。井上(1985)はこれらの手法を改良し、薄板の滑らかさと振動の少なさを表す汎関数を定義して、これを最小化するモデルが最適化であるとした。さらに、塩野ほか(1986, 1987)は井上(1985)の手法を帰着させ、傾斜データや不等式で表されるデータにも対処できるように解法を拡張した。

### ③クリッキング法

金や銅などの金属鉱床における鉱量や鉱石品位の分布を精度良く推定することを目的とした地球(あるいは地質)統計学の分野で発展した補間法である。

クリッキング法は加重平均法の1つであり、品位などの測定データの重み付き平均によって任意のブロック、あるいは点での値を算定する。各データに対する重み係数を、データの空間的な共分散構造を考慮し、かつ誤差の統計的分散を最小化するようにして求める点に本手法の特徴がある。クリッキング法の詳細と適用例については、David(1977, 1988), Journel and Hujbregts(1978), Rendu(1984), Hohn(1988)に述べられている。

不等式で表されるデータを扱えるようにした Dubrule and Kostov(1986)のように、クリッキング法には幾つか種類があり、例えば地球物理学への応用も図られている(Easley et al., 1990; Shive et al., 1990)。ただし、クリッキング法を適用するには、

- ・対象領域内の任意の点における期待値は、点の位置に無関係に一定となる。
- ・一定の間隔にある任意の2点間の値には共分散が存在し、それは領域内に占める点の位置には無関係である。

という2次安定性の仮説が成立することが前提条件となる。(新井, 1985)

## (2) 地質構造の 3 次元可視化の処理技術

地質構造の 3 次元可視化の処理技術として、現状では次の 2 モデルが挙げられる。

### ①サーフェイスモデル

サーフェイスモデルとは、3D グラフィックのモデルデータの管理方法のひとつである。3 次元の形状を面の集合として記述し、形状内部の情報は扱わない。レンダリングする場合は面の向きと光源の関係だけを計算すればよいので扱いが楽だが、常にその面が形状の外側なのか内側なのかを把握していなければならない。

地層を表現する場合は、各地層の境界面を 3 次元の面情報として表現する。この手法は、GEORAMA や VALUCAN に採用されており、技術的には文献が比較的多く発表されている。使用メモリ、演算時間の面からパソコン向きのモデルであるが、レンズ状に挟んでいる地層などの表現が難しい。

図-8.2 にサーフェイスモデルの表示例を示す。

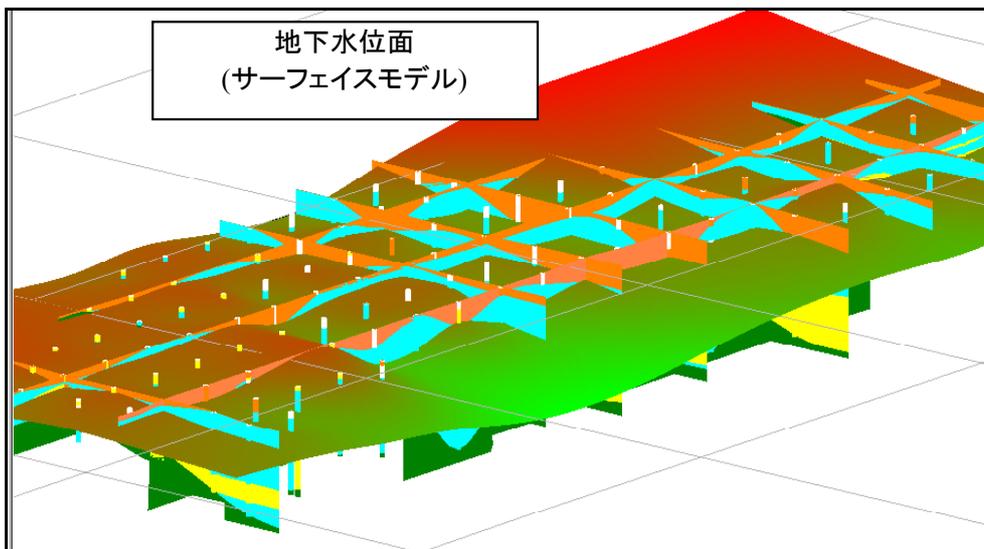


図-8.2 サーフェイスモデルの表示例

## ②ボクセル(ソリッド)モデル

3次元の微小な直方体の集合である。2次元の画素(Pixel = Picture Cell)と区別してボクセル(voxel = volume cell)といい、普通は立方体のボクセルを用いる。ボクセルによる構成は、物体の最も直接的な構成手法であり、どのような複雑な形状の断面を持つ物体も、与えられた断面のデータに忠実に構成できる。しかも、物体の表面だけでなく、内部の形状も表現できる。

ボクセルモデルは、一度モデルを構築すれば自由な位置でモデルを切断処理することが可能で、次に示す操作機能を設けることによって内部地質構造の把握が容易になる。

図-8.3にボクセルモデルの表示例を示す。

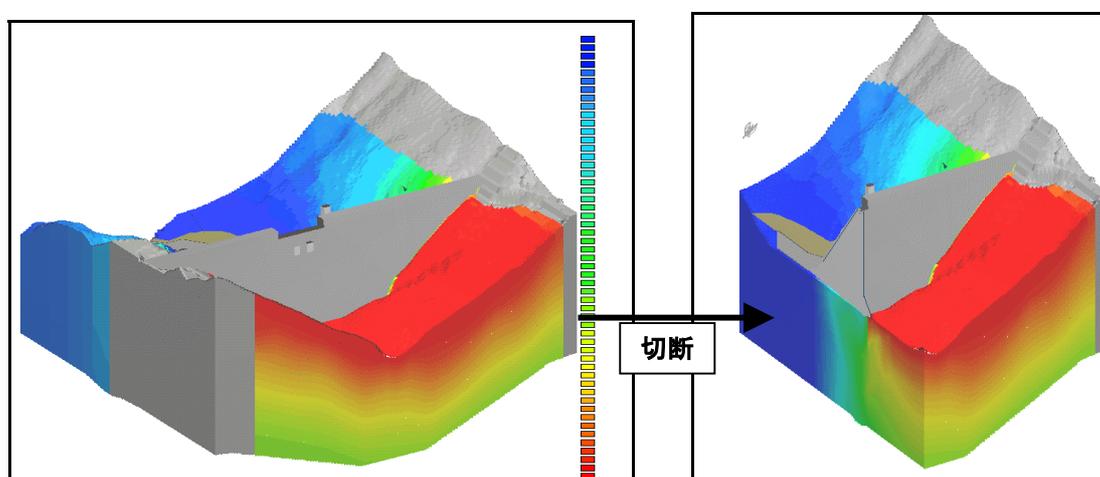


図-8.3 ボクセルモデルの表示例(切断表示例)

## 8.2 3次元土木地質GISの活用事例

3次元土木地質GISの適用可能な分野は、多岐にわたると考えられるが、ここでは以下に示す3つの活用事例を紹介する。

### 8.2.1 活用事例1：港湾サイトに適用した3次元土木地質GISの事例

#### (1) 概要

本事例は、3次元土木地質GISを港湾サイトに適用した事例である。

ある港湾サイトを対象に実施したもので、過去に実施された400本程度のボーリングを有効活用することを目的とし、これらのデータを用いて、サイト内の任意箇所の柱状図(N値を含む)の推定を行う3次元土木地質GISの開発を行った事例である。

#### (2) 任意の柱状図(N値)の推定方法と検証

任意の柱状図(N値)の推定を行うにあたって、図-8.4の手順で行った。

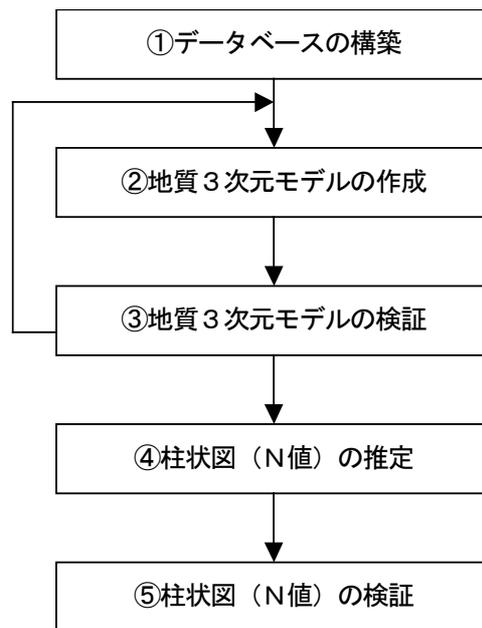


図-8.4 柱状図の推定手順

### ①データベースの構築

縦 4.5km 横 3.3km のエリアを検討範囲とし、その範囲を網羅する以下の項目に対してデータベース化を行った。

- ・地図データ (縮尺 1/2,500 現況図 7 枚)
- ・ボーリングデータ (362 本)
- ・地形標高メッシュデータ (メッシュ間隔 20m)
- ・地質断面図データ (4 断面)

### ②地質 3 次元モデルの作成

手順①で構築したデータベースを用いて、地質 3 次元モデルを作成した。作成方法を以下に示す。また、図-8.5 に地質 3 次元モデルの表示例を示す。

- 1) 最適化原理<sup>1)</sup>を用いて、各地層の境界面を推定する。
- 2) 各地層に優先度を付け、地層の逆転を抑制する。
- 3) 地形標高メッシュデータを重ね合わせ、地表面を地形標高メッシュデータに一致させる。

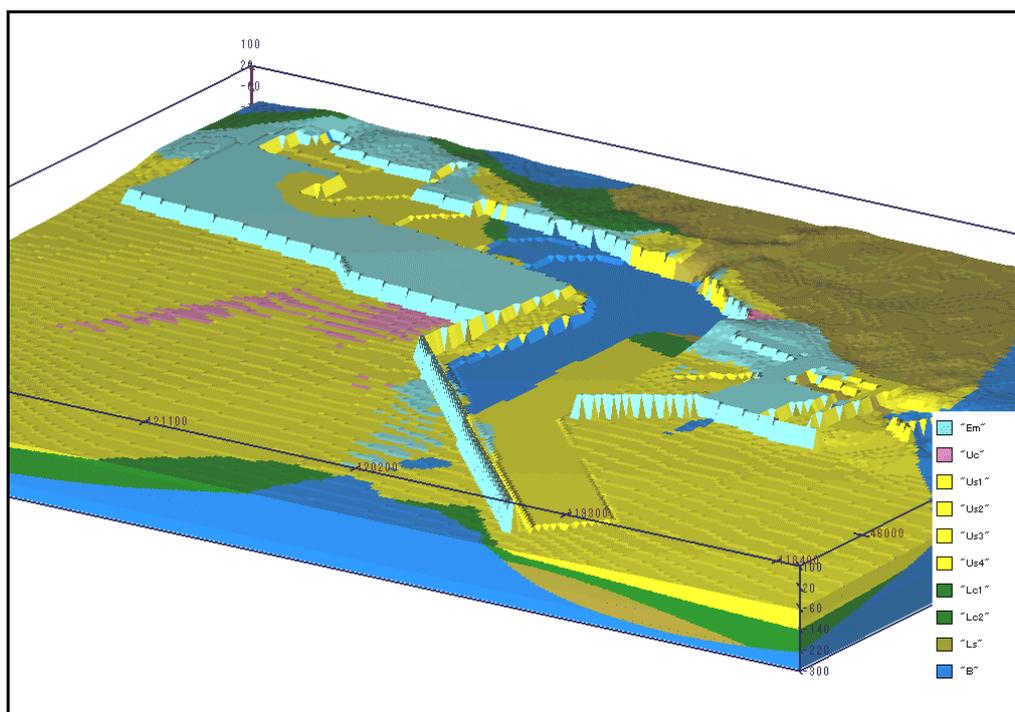


図-8.5 地質 3 次元モデルの表示例

### ③地質 3 次元モデルの検証

地質 3 次元モデルをある位置で切断し，データベース化した地質断面図と推定地質断面図(地質 3 次元モデルの切断面)を比較することで，地質 3 次元モデルの検証を行った。図-8.6 に推定断面図を図-8.7 に手本断面図をそれぞれ示す。また，表-8.5 に検証結果を示す。

表-8.5 地質 3 次元モデルの検証結果

地層名	地層記号	検証結果
盛土層	Em	手本断面図とほぼ一致している。
上部砂層	Us	手本断面図とほぼ一致している。
下部粘土層	Lc	手本断面図とほぼ一致している。
下部砂層	Ls	図中の (b) に示す位置で現れている。これは，下部砂層(Ls)の地層上面が実際より高く推定されたためと思われる。
岩盤	B	図中の (a) に示す位置で岩盤の地層上面が低く推定され，そこに下部砂層(Ls)が現れている。これは，図中の (a) に示す位置でボーリングデータがないため岩盤(B)の地層上面が低く推定されたためと思われる。

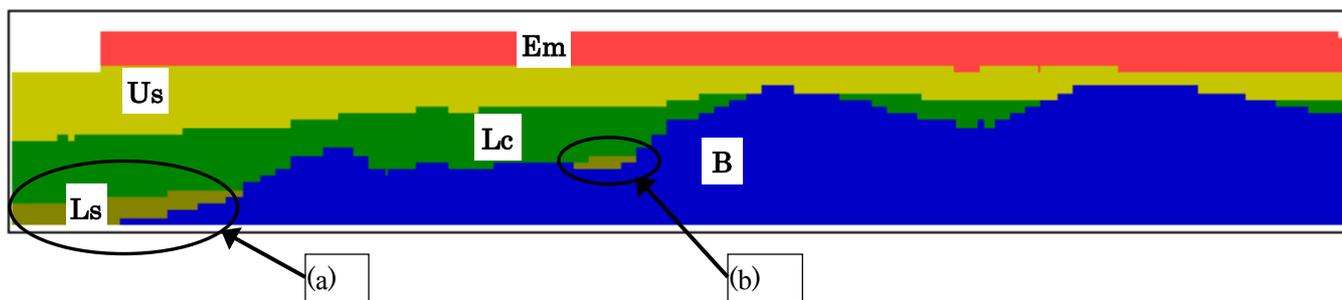


図-8.6 推定断面図(地質 3 次元モデル切断面)

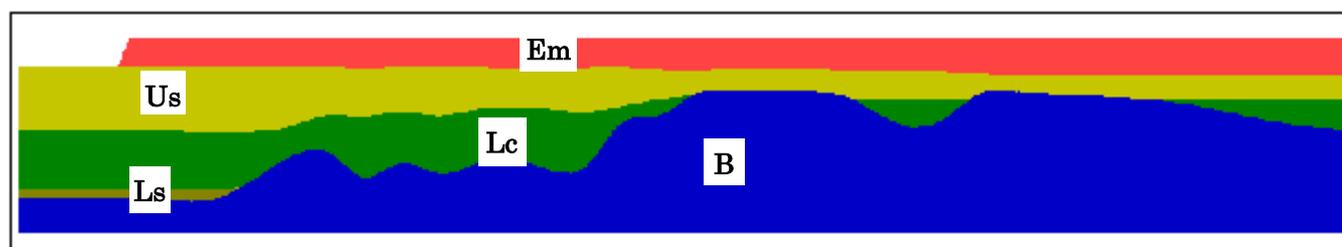


図-8.7 手本断面図

#### ④柱状図(N値)の推定方法

地質3次元モデルと実ボーリングのN値を元にして柱状図(N値)の推定を行った。推定方法を以下に示す。

- 1) 検討エリア内で地盤物性を推定する地点をマウスでクリックする(任意指定)。
- 2) クリックした地点の柱状図を地質3次元モデルから抽出し、モデル最上位(地表)から1m毎に区分し、区分深度に該当する地層年代区分とN値を推定する標高を求める。
- 3) データベースから2)で求めた標高に対応するN値を地層年代区分別に抽出する。
- 4) 抽出されたボーリングデータのN値から加重平均法(距離の重み計算)を用いて指定した地点のN値を推定する。
- 5) 2)で求めた各N値推定標高に対して3)～4)の計算を行い、推定柱状図を完成させる。

#### ⑤柱状図(N値)の検証

地盤物性(N値)の検証は、実柱状図と同位置で推定した推定柱状図を比較することで行った。図-8.8に実柱状図と推定柱状図の比較図を示す。全体的に実柱状図のN値が精度良く再現された結果が得られた。

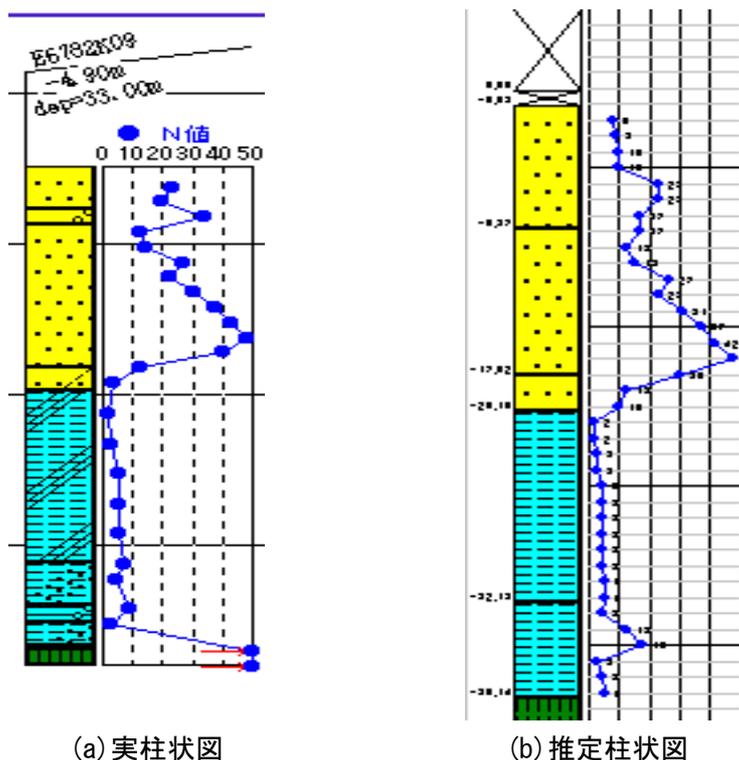


図-8.8 実柱状図と推定柱状図の比較

<参考文献>

- 1) 塩野清治, 弘原海晴, 升本眞二 ; 最適化原理による地層断面の推定, 情報地質(11)1986.

## 8.2.2 活用事例 2：ダムに適用した 3 次元土木地質 GIS の事例

### (1) 概要

本事例は、あるダムサイトをモデルとして、地理情報および地盤情報のデータベース化を行い、それらのデータを用いて地質構造の 3 次元モデルを構築したものである。

3 次元モデルは、「地質区分 3 次元モデル」「岩級区分 3 次元モデル」「ルジオン区分 3 次元モデル」を構築した。このうち、ルジオン区分 3 次元モデルを用いて、三次元浸透流解析を実施し、ダム堤体に作用する揚圧力の検討を行った。

### (2) 地質構造の 3 次元モデル構築手順

今回は、図-8.9 に示す手順でダム地質構造の 3 次元モデル化を行った。

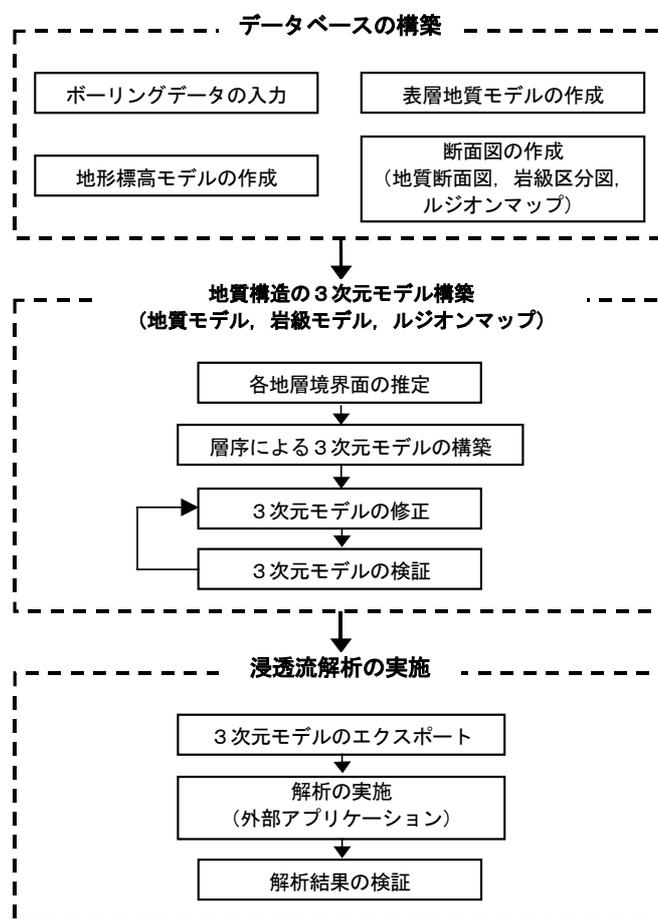


図-8.9 ダム地質構造の 3 次元モデル化の手順

### (3) データベースの構築

当ダムサイトで実施された調査結果を基にデータベースの構築を行った。データベース項目を以下に示す。

- ・ ボーリングデータ
- ・ 地形標高モデル
- ・ 表層地質モデル
- ・ 断面図(地質, 岩級, ルジオン値)

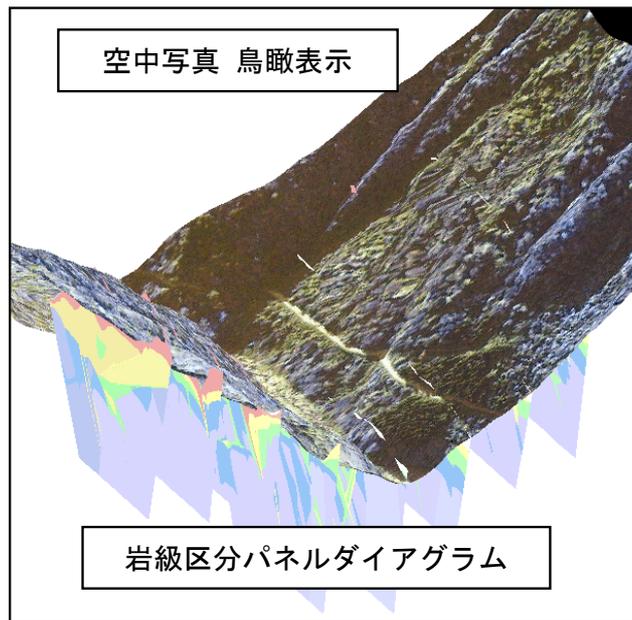


図-8.10 パネルダイアグラム表示例

#### (4) 地質構造の3次元モデル構築

地質構造の3次元モデルは、パネルダイアグラムに囲まれた領域を最適化原理法で内挿する手法で作成した。また、矛盾なく3次元モデルを構築するために、以下の処理を追加した。

- ①地層層序をデータとして、入力する。
- ②ボーリング及び地質断面図を用いて、各地層の上下境界面を推定する。
- ③地層の形成過程に合わせて、各地層を3次元モデルに積み上げる(もしくは挿入する)。
- ④最上面を地形標高モデル、表層地質モデルに一致させる。

計算処理では、どうしても表現できない地層については、3次元モデルを直接編集することで対応した。

図-8.11 に地質3次元モデルの表示例を示す。

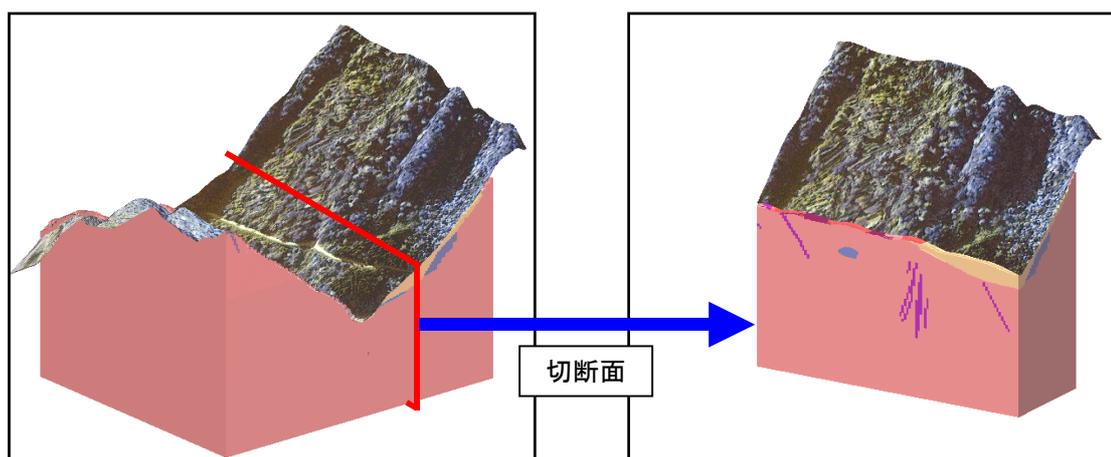


図-8.11 地質区分3次元モデルの表示例

### (5) 三次元浸透流解析の実施

浸透流解析は、ダム堤体基礎に作用する揚圧力の解析を実施することによって、ダムの安定度の確認を行うことを目的に実施した。

帯水層モデルとしては、ルジオン区分3次元モデルを用い、ルジオン値に応じた換算透水係数を設定することで対応した。また、カーテングラウトは2ルジオン以下の透水条件で行った。水位境界は、上流側水位をダムのサーチャージ水位として設定した。

浸透流解析は、外部アプリケーションで実施し、解析結果をGIS上に表示した。

浸透流解析結果(全水頭)をGIS上に表示した事例を図-8.12に示す。

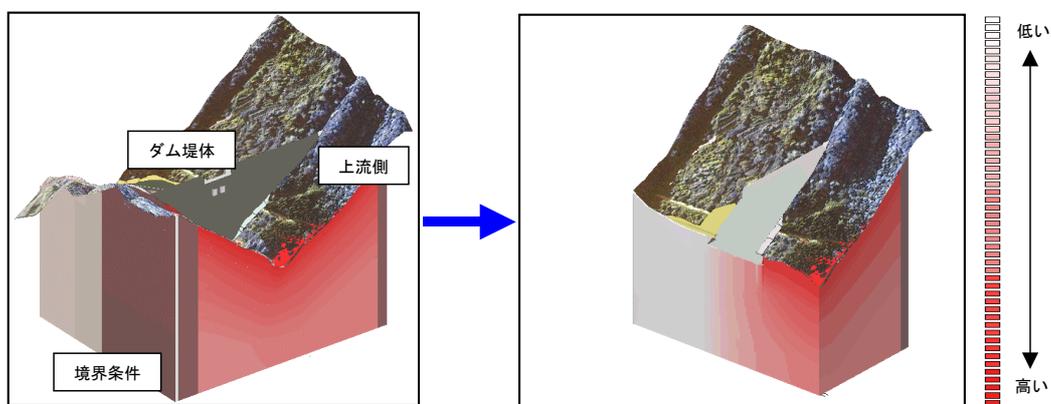


図-8.12 浸透流解析結果の表示例

### 8.2.3 活用事例3：地すべりに適用した3次元土木地質GISの事例

#### (1) 概要

本事例は、地すべりサイトをモデルとして、地理情報および地盤情報のデータベース化を行い、それらのデータを3次元ビュー上に表示した事例である。

本システムは、地すべり地の断面図、ボーリング柱状図を表示するデータベース機能を有する。柱状図の記載事項をテキストデータとして高度な検索が行える上に、拡大縮小を伴う印刷時にも高品質な柱状図を提供することが可能である。また、地すべり地の3次元構造図を表示できる機能も兼ね備えている。図-8.13に地すべり3次元構造図の表示例を示す。

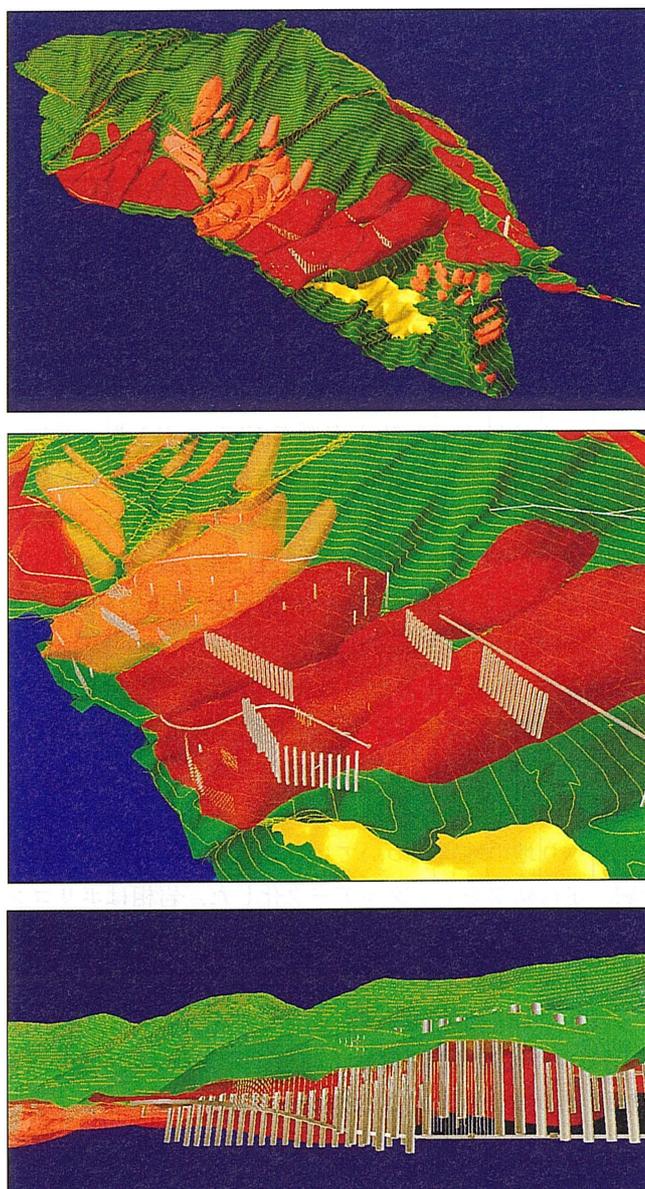


図-8.13 地すべり地および対策構造物の3次元表示

### 8.3 今後の課題

ここでは、3次元土木地質GISを使用する(適用する)にあたっての課題と今後の展望について、述べる。

#### (1) 3次元化の手法と環境の整備

2次元GIS同様、3次元土木地質GISも精度・品質を確保することは困難である。特に3次元地質図は、ボーリングデータ、地質断面図、地質平面図を基に、地盤・地質構造の3次元的な広がりやを推定し、作成される。このため、地質構造の形成過程を正確に表現した地質図を描く必要があり、適切な地質構造の論理モデルを作成する必要がある。

#### (2) データ構造のあり方

これまでの3次元土木地質GISソフトは、ダム施工管理、石油資源や地熱資源等の地下探査や、金属鉱山における地下の坑道管理において、三次元地下構造モデルの作成や管理を目的としたツールとして、開発されてきた。これらは、比較的狭い範囲のモデル化を行うもので、作成したモデルを他の目的に再利用されることを想定していないことが多く、データの互換性や標準化が図られていないのが現状である。

より広域な三次元地下構造モデル、例えば地域地盤図に適用する際には、複数の機関のデータを集約し、作成したモデルを共有できることが、要求される。このためには、三次元地下構造モデルのデータ構造や形式の標準化の検討を行う必要があると考える。

#### (3) データ作成コスト

2次元、3次元に関わらず、GISを新たに導入する場合には、その導入コストの大部分は、データ作成費に使われている。特に3次元データは、2次元データに比べて、データ量が膨大となるため、それに合わせてデータの作成コストも嵩んでしまう。

この3次元データを精度良く効率的に取得する技術の研究が大学、民間企業等で行われており、1例として次の技術があげられる。

##### ・航空搭載型レーザープロファイラー(国際航業(株))

航空機から地上に向けてレーザーを照射し地上から反射してくるレーザーの時間差で地物の高さを測定する。航空機の空間位置は、地上のGPS基準局と航空機に搭載したGPS/IMU(ジャイロ)により、正確な位置が常に把握でき、これらを解析することで地物のX,Y,Zの計測を可能にする。

位置精度：±30cm 高さ精度：±15cm(メーカー値)